

Studi Eksperimental Pengendalian Korosi pada Aluminium 2024-T3 di Lingkungan Air Laut Melalui Penambahan Inhibitor Kalium Kromat (K_2CrO_4)

Waris Wibowo^{1,*}, Mochammad Noer Ilman^{2,**}

¹⁾ Akademi Maritim Yogyakarta, Mahasiswa S2 T. Mesin UGM

²⁾ Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fak. Teknik Universitas Gadjah Mada

Abstract

Aluminium alloy 2024-T3 is widely used in manufacturing industries such as aircraft, automotive and ship industries due to its light weight and good mechanical properties. However, aluminium alloy 2024-T3 is suffered from corrosion attack when it is operated in corrosive environment such as sea water. One of the corrosion control methods is inhibitor addition. The present investigation aimed to study the effect of K_2CrO_4 inhibitor on controlling corrosion rate in sea water.

In this research, K_2CrO_4 was added to sea water environment with various concentrations, i.e. 0.1, 0.3 and 0.5%. Subsequently corrosion rates were measured using three-electrode potential technique with saturated calomel (Hg_2Cl_2) electrode as a reference electrode whereas the auxiliary electrode was platinum (Pt). Additional experiments including compositional analysis, microstructural examination, hardness measurement and tensile test were also carried out to gain better understanding to the mechanism in which corrosion attacks aluminium alloy 2024-T3.

Experimental results showed that corrosion rate of aluminium alloy 2024-T3 in sea water without inhibitor is around 0.0216 mm/year. The additions of K_2CrO_4 inhibitor tended to reduce the corrosion rate until a minimum value was obtained, typically 0.0134 mm/year (or 38% decrease) as the amount of K_2CrO_4 was 0.5%. The type of corrosion observed in this investigation was pitting corrosion as a result of local damage in passive film. Inhibitor seemed to form thin protective film on metal surface hence reducing corrosion rate.

Keywords: aluminium alloy, 2024-T3, sea water, corrosion, inhibitor, K_2CrO_4

Abstrak

Aluminium paduan seri 2024-T3 banyak digunakan di industri manufaktur seperti pesawat terbang, otomotif, dan kapal laut karena aluminium merupakan logam ringan dan memiliki sifat mekanik yang baik. Namun demikian aluminium paduan 2024-T3 rentan terhadap korosi bila dioperasikan di lingkungan yang korosif, seperti air laut. Salah satu upaya untuk mengendalikan laju korosi adalah dengan penambahan inhibitor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh inhibitor kalium kromat (K_2CrO_4) dalam mengendalikan laju korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut.

Pada penelitian ini, jenis inhibitor yang dipakai adalah kalium kromat (K_2CrO_4) yang ditambahkan di media air laut dengan variasi konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5%. Selanjutnya laju korosi diukur dengan menggunakan metode sel potensial tiga elektroda dengan kalomel (Hg_2Cl_2) jenuh sebagai elektroda baku sedangkan elektroda tambahan digunakan platina (Pt). Sebagai data pendukung dilakukan uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan Vickers dan uji tarik.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa laju korosi Al 2024-T3 di media air laut tanpa inhibitor sebesar 0,0216 mm/tahun. Penambahan inhibitor kalium kromat (K_2CrO_4) cenderung menurunkan laju korosi dan konsentrasi optimum tercapai pada 0,5% K_2CrO_4 ditandai dengan laju korosi minimum yaitu sebesar 0,0134 mm/tahun atau terjadi penurunan laju korosi sebesar 38%. Bentuk korosi yang terjadi berupa korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang disebabkan karena rusaknya selaput pasif. Pada kasus ini inhibitor berfungsi menutup selaput pasif yang rusak tersebut sehingga dapat menghambat laju korosi.

Kata kunci: aluminium paduan, 2024-T3, air laut, korosi, inhibitor, K_2CrO_4

Pendahuluan

Aluminium (Al) merupakan material yang banyak digunakan di bidang industri karena

memiliki beberapa keunggulan yaitu aluminium merupakan logam ringan, konduktivitas panas dan listrik tinggi, sifat mampu mesin (*machinability*) baik, ketahanan korosi relatif baik, dan sifat mampu cor (*castability*) baik. Selanjutnya untuk lebih meningkatkan sifat-sifat

* Alamat korespondensi: e-mail: waris_akmal@yahoo.co.id

** Alamat korespondensi: e-mail: ilman_noer@ugm.ac.id

tersebut aluminium telah banyak dikembangkan dengan menambahkan paduan unsur-unsur lain.

Salah satu aluminium paduan yang banyak digunakan di bidang teknik adalah aluminium paduan seri 2024-T3 yang merupakan paduan logam Al-Cu dengan tembaga berkisar 3,8 – 4,9%, sedangkan T3 adalah proses perlakuan panas yang terdiri dari pelarutan padat (*solid solution*), celup (*quenching*) dan proses penuaan (*aging*) untuk mencapai tingkat kekerasan yang lebih baik (Polmear, 1981). Logam paduan ini biasanya digunakan untuk komponen mesin seperti poros dan roda gigi, baut dan mur, kopling, komponen sekering, katup hidrolik, dan piston (asm.matweb.com). Namun demikian aluminium paduan 2024-T3 rentan terhadap korosi bila logam ini diaplikasikan pada lingkungan yang bersifat korosif seperti air laut. Telaah uji korosi lokal pada Al 2024-T3 dalam larutan NaCl dengan metoda intermitten yang dilakukan Harsito (2000), menunjukkan bahwa larutan NaCl dengan konsentrasi 0,0035-3,5% menyebabkan terjadinya korosi sumuran, sedangkan pada konsentrasi 0,0035% NaCl ion khlorida pada larutan ini menyebabkan korosi merata (*uniform corrosion*). Selanjutnya, Liu (2010) meneliti tentang karakterisasi pemasifan dan korosi sumuran pada aluminium paduan seri 3003 di larutan *ethylene glycol-water* dan hasilnya menunjukkan bahwa korosi sumuran Al 3003 terjadi pada larutan *ethylene glycol-water* dengan konsentrasi rendah, dimana lapisan yang terbentuk lebih didominasi Al oksida.

Sejumlah komponen mesin yang menggunakan bahan Al 2024-T3 di lingkungan korosif seperti lingkungan air laut akan mengalami serangan korosi. Proses tersebut mengakibatkan rusaknya lapisan pasif pada permukaan material Al 2024-T3. Pengendalian korosi menurut Davis (2000) dapat dilakukan dengan metode pemilihan material, pelapisan, *inhibitor* dan desain. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghambat laju korosi pada Al 2024-T3 yakni dengan *inhibitor*. Secara umum *inhibitor* korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan dapat menurunkan laju serangan korosi terhadap suatu logam. Fontana (1987) menjelaskan sejumlah *inhibitor* menghambat korosi melalui cara modifikasi polarisasi katodik dan anodik, mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam, menambah hambatan listrik pada permukaan logam dan menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa tidak agresif.

Performa inhibitor korosi diukur melalui efisiensinya (E) yaitu dengan membandingkan laju korosi dari sistem yang ditinjau dan dirumuskan sebagai berikut (Widharto, 2001) :

$$E = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan K_0 dan K_1 masing-masing adalah laju korosi tanpa dan dengan *inhibitor*.

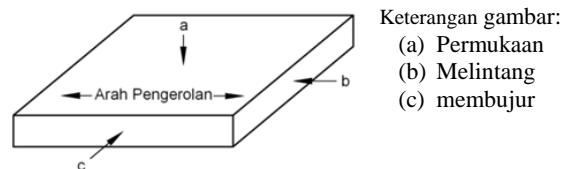
Metode Penelitian

Material

Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan spesifikasi material yang digunakan.

Karakterisasi mikrostruktur

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (SEM). Pengamatan dilakukan pada tiga bidang seperti pada Gambar. 1 yaitu : (a) permukaan, (b) melintang dan (c) membujur. Persiapan spesimen dengan dipoles dan dietsa dengan *Keller's reagent* (1 ml HF + 1,5 ml HCl + 2,5 ml HNO₃ dan 95 ml H₂O selama 10-20 detik).



Keterangan gambar:
(a) Permukaan
(b) Melintang
(c) membujur

Gambar 1. Posisi spesimen uji struktur mikro dan kekerasan.

Pengujian Kekerasan

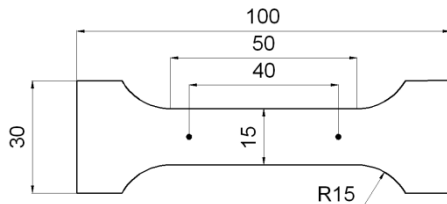
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan aluminium paduan seri Al2024-T3. Peralatan yang digunakan uji kekerasan adalah *Buehler microhardness* tester dengan metode Vickers. Posisi pengujian ditunjukkan sebagaimana Gambar 1. Untuk menghitung kekerasan Vickers menggunakan rumus:

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (2)$$

dengan VHN : angka kekerasan Vickers (kg/mm²), P : beban (kg) dan d : diagonal injakan (mm).

Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan material awal aluminium paduan seri Al 2024-T3, sehingga dapat diperoleh tentang sifat mekanis bahan uji antara lain: batas elastis, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik. Uji tarik pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan arah pengerolan material dan spesimen dibuat sesuai dengan standar JIS Z2201 *non ferrous* nomor 6 seperti Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji tarik (JIS Z2201 No. 6)

Pengujian Korosi

1. Sel Potensial Tiga Elektroda

Uji elektrokimia dilakukan menggunakan sel potensial tiga elektroda dengan elektroda kalomel (Hg_2Cl_2) jenuh atau *saturated calomel electrode* (SCE) sebagai elektroda baku sementara elektroda pembantu yang digunakan adalah platina seperti pada Gambar 3. Uji korosi dilakukan di lingkungan air laut (pH sebesar 7,64) dan air laut yang ditambahkan *inhibitor* kalium kromat (K_2CrO_4) dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3%, dan 0,5% dan. Laju korosi (r) dalam (mpy) dihitung menurut persamaan berikut :

$$r = 0,129 \frac{i_{\text{cor}}(EW)}{D} \quad (3)$$

dengan i_{cor} : arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$), D : berat jenis (g/cm^3) dan EW : *equivalent weight* yang ditentukan menurut persamaan :

$$EW = (N_{\text{EQ}})^{-1} \quad (4)$$

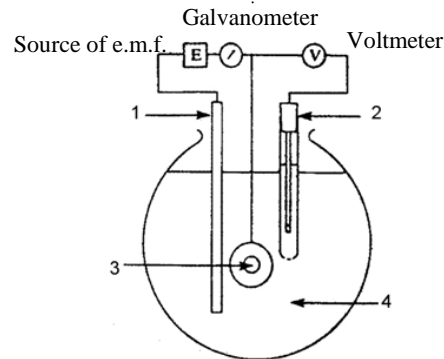
N_{EQ} adalah bilangan ekuivalen (*the number of equivalent*) yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$N_{\text{EQ}} = \sum \left(\frac{f_i}{a_i / n_i} \right) = \sum \left(\frac{f_i n_i}{a_i} \right) \quad (5)$$

dengan f_i , n_i dan a_i masing-masing adalah fraksi massa, jumlah elektron (valensi) dan massa atom unsur.

2. Metode Perendaman

Disamping pengukuran laju korosi, jenis korosi yang terjadi pada permukaan material Al 2024-T3 juga dilakukan dengan perendaman selama 24 jam dengan media air laut dan air laut yang ditambahkan *inhibitor* kalium kromat, selanjutnya diuji mikrostruktur.



Keterangan Gambar:

1. Counter (auxiliary) electrode
2. Saturated calomel reference electrode
3. Working electrode
4. Electrolyte

Gambar 3. Sel Potensial Tiga Elektrode

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Material

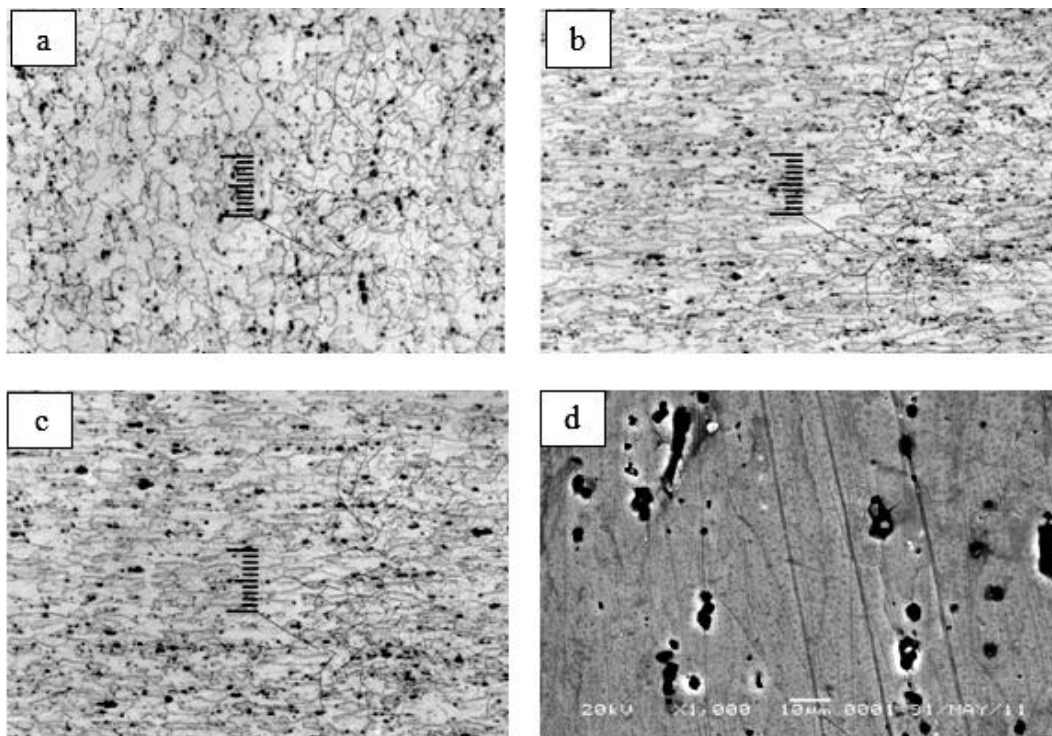
Hasil uji komposisi pada material yang diteliti dengan perbandingan komposisi standar dari material tersebut terlihat pada Tabel 1. Hasil pengujian komposisi memperlihatkan bahwa spesimen yang diteliti mempunyai komposisi yang masih dalam batasan standar komposisi material Al 2024-T3 (*asm.matweb.com*, (2011) ; IIman, (2009)).

Tabel 1. Perbandingan komposisi spesimen

Material	Spesimen	Standar
Komposisi Kimia (wt %)	Si	0,5 max 0,5
	Fe	0,5 max 0,5
	Cu	3,9 3,8-4,9
	Mn	0,6 0,3-0,9
	Mg	1,5 1,2-1,8
	Zn	0,25 max 0,25
	Cr	0,1 max 0,1
	Ti	0,15 max 0,15
	Al	92,5 90,7-94,7

Hasil pengamatan mikrostruktur pada spesimen Al 2024-T3 yang diambil dari bidang permukaan, bidang melintang dan bidang membujur dengan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 4(a),(b) dan (c) sedangkan Gambar

4(d) diambil dengan SEM. Dari Gambar 4 terlihat bahwa struktur mikro bidang permukaan



Gambar 4. Photo struktur mikro Al2024-T3 diambil dari bidang : (a) permukaan, (b) melintang, (c-d) membujur

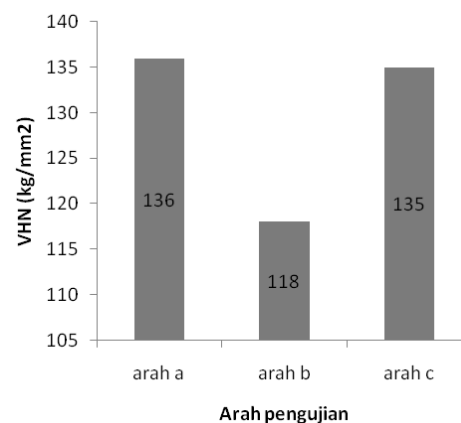
(Gb.4(a)) berbentuk poligonal (*equiaxed*) sedangkan pada bidang melintang (Gambar 4(b)) dan membujur (Gambar 4(c)) memiliki bentuk butir memanjang sejajar atau paralel dengan arah pengerolan yang dinamakan *texture*. Hal ini disebabkan adanya deformasi memanjang selama proses pengerolan. Hasil pengamatan SEM (Gambar 4(d)) memperlihatkan butiran fasa kedua berwarna gelap dalam bentuk inklusi (oksida) atau endapan halus (*precipitate*) dari material tersebut. Menurut Polmear (1981), perbedaan struktur mikro ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi. Disamping itu dapat dijelaskan bahwa proses perlakuan panas T3 tidak menyebabkan terjadinya rekristalisasi pada Al 2024-T3.

Hasil pengujian kekerasan Vickers material Al 2024-T3 diambil pada bidang : (a) permukaan, (b) melintang dan (c) membujur seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Bidang permukaan dan bidang membujur memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada arah melintang. Hal ini disebabkan karena proses pengerolan menyebabkan peningkatan kerapatan dislokasi (*dislocation density*) dan menyebabkan penguatan regangan (*strain hardening*) pada arah rol. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen mempunyai tegangan tarik

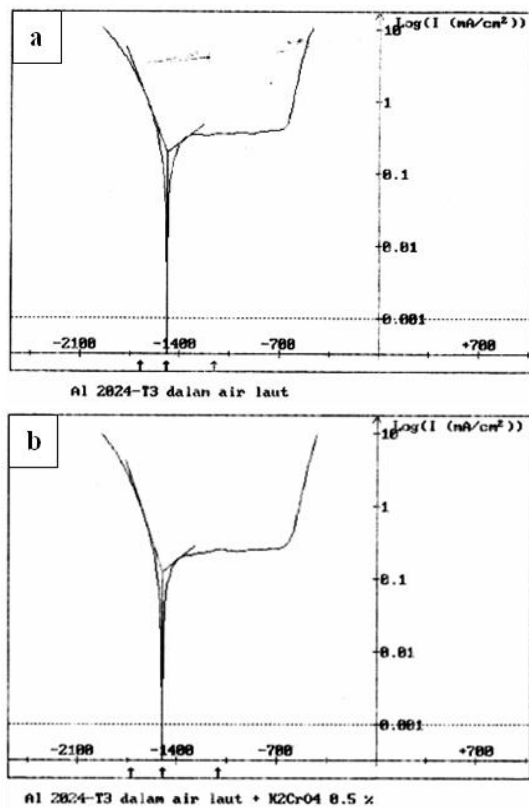
maksimal (σ_T), tegangan luluh (σ_y) dan perpanjangan (*elongation*) masih dalam batasan standar material Al 2024-T3 (*asm.matweb.com*, 2011), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan kekuatan tarik dan perpanjangan (*elongation*)

Material	Stress (MPa)		Elongation
	σ_y	σ_T	% El
Spesimen	362,7	453,6	17,8
Standar	345	483	18



Gambar 5. Uji kekerasan Vickers material Al2024-T3 (a) arah permukaan, (b) arah melintang, (c) arah membujur



Gambar 6. Hasil pengujian korosi

Tabel 3. Data hasil pengujian korosi Gambar 6.

Variabel	a	b
$E(i=0)$ (mV)	-1504,5	-1519,5
R_p ($\Omega \text{ Cm}^2$)	2,73E+02	3,87E+02
r^2	0,9917	0,9811
$I(i=0)$ ($\mu\text{A}/\text{Cm}^2$)	189,48	117,89
β_c (mV)	-201,8	-171,0
r^2	0,9993	0,9997
β_a (mV)	+684,7	+655,7

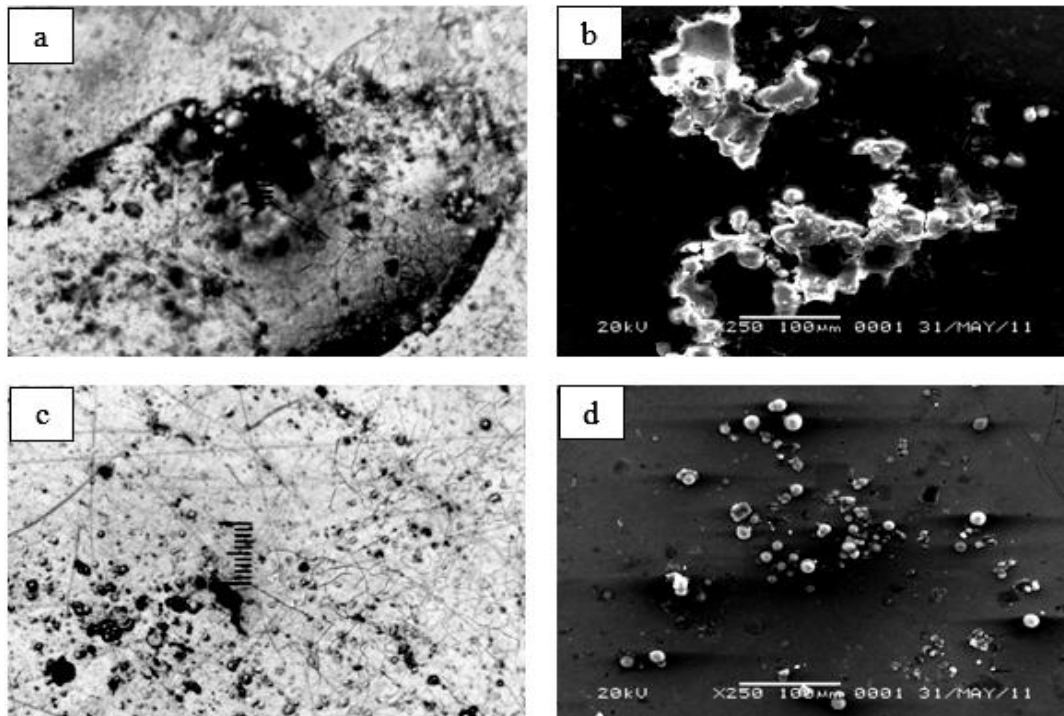
Analisa Laju Korosi

Gambar 6 dan Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian laju korosi menggunakan sel potensial tiga elektrode yang didasarkan pada metode ekstrapolasi Tafel. Hasil pengamatan bentuk kurva polarisasi seperti Gambar 6 menunjukkan bahwa lingkungan air laut tanpa *inhibitor* (Gambar 6(a)) memperlihatkan daerah pasif berkisar antara -1400 sampai -700 mV sedangkan penambahan *inhibitor* K_2CrO_4 di air laut dengan konsentrasi 0,5% cenderung meningkatkan daerah pasif (Gambar 6(b)) yang kemungkinan disebabkan adanya pengaruh oksidasi. Dengan memasukkan data pada Tabel 3 ke persamaan

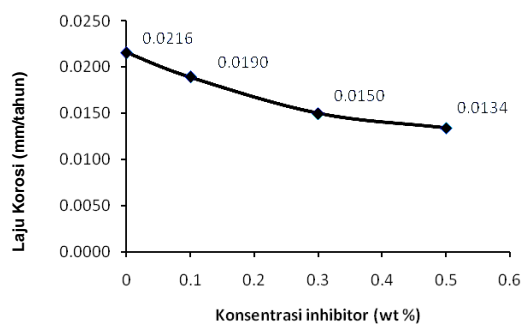
(3)-(4)-(5) dihasilkan kurva laju korosi sebagai fungsi dari konsentrasi *inhibitor* seperti pada Gambar 8. Dari Gambar 8 terlihat bahwa penggunaan *inhibitor* kalium kromat (K_2CrO_4) cenderung menurunkan laju korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut. Laju korosi tanpa *inhibitor* menunjukkan nilai 0,0216 mm/tahun sedangkan dengan penambahan *inhibitor* K_2CrO_4 cenderung menurunkan laju korosi dan nilai terendah (0,0134 mm/tahun) dicapai saat konsentrasi *inhibitor* mencapai 0,5% sehingga terjadi penurunan laju korosi sebesar 38%. Dengan penambahan *inhibitor* kalium kromat nilai laju korosi mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi *inhibitor*. Penurunan laju korosi ini disebabkan adanya unsur K_2CrO_4 sebagai anion yang mengoksidasi sehingga dapat membuat pasif permukaan Al 2024-T3, sebagaimana ditunjukkan pada grafik hasil pengujian korosi.

Inhibitor korosi diukur menggunakan efisiensinya, yaitu dengan membandingkan laju korosi dari sistem yang ditinjau. Hasil pengujian laju korosi memperlihatkan adanya pengaruh *inhibitor* terhadap penurunan laju korosi. Gambar 9 memperlihatkan efisiensi *inhibitor* kalium kromat memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi *inhibitor*, sedangkan laju peningkatan efisiensi dari *inhibitor* kalium kromat di lingkungan air laut pada material Al 2024-T3 dapat dilihat dari gradien Gambar 9 yang semakin turun saat konsentrasi K_2CrO_4 meningkat.

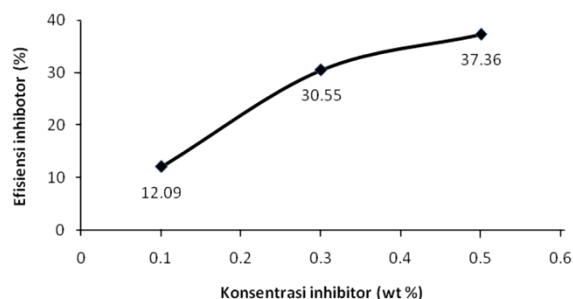
Berdasarkan hasil pengamatan dari struktur mikro Al2024-T3 setelah dilakukan perendaman selama 24 jam pada media air laut dan air laut yang ditambahkan *inhibitor* terlihat bahwa bentuk serangan korosi bersifat lokal, cenderung ke bentuk korosi sumuran (*pitting corrosion*). Gambar 7(a),(b) memperlihatkan bentuk korosi sumuran yang terjadi pada media air laut tanpa *inhibitor* (0%), dan Gambar 7(c),(d) menunjukkan bentuk korosi sumuran pada media air laut yang ditambahkan *inhibitor* kalium kromat (K_2CrO_4) dengan konsentrasi 0,5%. Korosi sumuran yang terjadi pada media yang menggunakan *inhibitor* K_2CrO_4 terlihat lebih dangkal bila dibandingkan dengan korosi yang terjadi pada media tanpa *inhibitor*, karena unsur K_2CrO_4 berfungsi sebagai anion yang mengoksidasi sehingga dapat membuat pasif permukaan yang mendapat serangan korosi.



Gambar 7. Photo struktur mikro Al 2024-T3 : (a-b) tanpa dan (c-d) dengan inhibitor



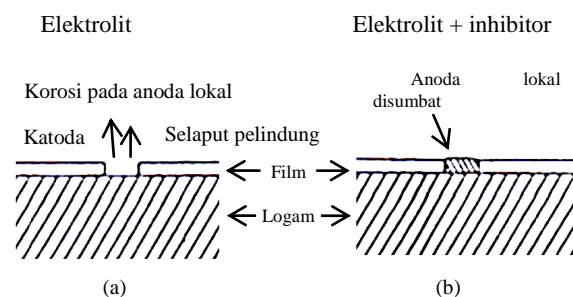
Gambar 8. Pengaruh *inhibitor* K_2CrO_4 terhadap laju korosi Al 2024-T3



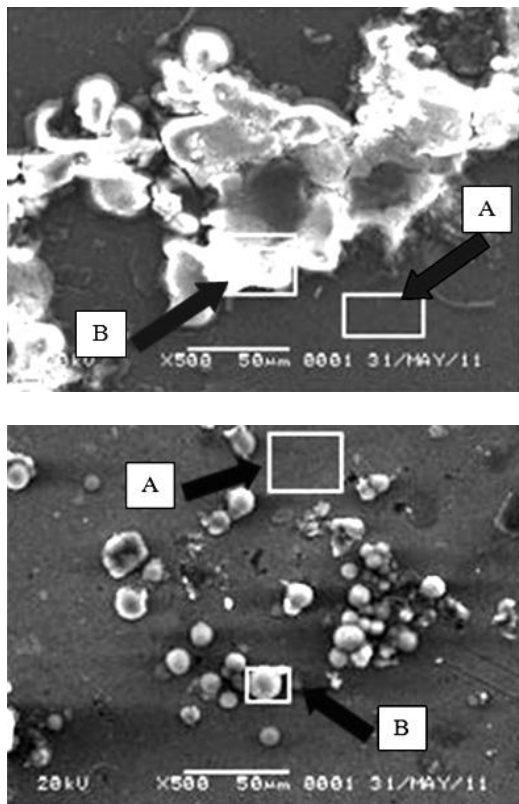
Gambar 9. Efisiensi *inhibitor* K_2CrO_4

Sementara itu mekanisme *inhibitor* anodik dalam mempertahankan lapisan pasif dapat dilihat pada Gambar 10. Pada Gambar 10 (a) terlihat korosi terjadi pada bagian selaput oksida yang terkelupas. Selaput pelindung kemudian akan bertindak sebagai katoda, sedangkan logam yang tersingkap sebagai anoda. Kemudian anion

dalam *inhibitor* anodik bereaksi dengan ion logam dalam larutan dan menutup bagian yang bersifat anodik, sehingga laju korosi menjadi terhenti kembali ditunjukkan pada Gambar 10 (b). Selanjutnya hasil pengujian SEM dari material dengan *inhibitor* kalium kromat konsentrasi 0,5% menunjukkan luasan bagian yang terkorosi lebih sedikit dibandingkan dengan di media air laut tanpa *inhibitor* sebagaimana ditunjukkan Gambar 11 (b). Permukaan logam Al 2024-T3 memiliki lapisan pasif alumina oksida (Al_2O_3) namun lapisan ini di lingkungan air laut belum optimal dalam menahan laju korosi. Penambahan konsentrasi 0,5% *inhibitor* kalium kromat di media air laut akan meningkatkan lapisan pelindung pada permukaan logam, sehingga serangan korosi pada bagian ini akan terhambat dan laju korosi pada logam menjadi menurun.



Gambar 10. Efek konsentrasi terhadap *inhibitor* anodik pada laju korosi (Trethewey, 1991)



Gambar 11. Photo SEM struktur mikro di media air laut (a) tanpa *inhibitor* dan (b) dengan *inhibitor* konsentrasi 0,5%

Kesimpulan

1. Korosi Al 2024-T3 di lingkungan air laut sebesar 0,0216 mm/tahun. Adanya penambahan *inhibitor* K_2CrO_4 menurunkan laju korosi sebesar 0,0134 mm/tahun (penurunan

38%) pada kondisi konsentrasi optimal 0,5% K_2CrO_4 .

2. Korosi pada Al 2024-T3 di lingkungan air laut berupa korosi sumuran (*pitting corrosion*).
3. *Inhibitor* K_2CrO_4 menghambat korosi melalui oksidasi yang menghasilkan produk senyawa yang menutup permukaan Al 2024-T3.

Daftar Pustaka

- Davis, J. R., 2000. Corrosion Understanding The basics, ASM International, All Rights Reserved, Printed in the United States of America.
- Fontana, M. G., 1987. Corrosion Engineering, McGraw-Hill, third ed., New York.
- Harsito, 2000. Uji Korosi Lokal pada Al 2024-T3 dalam Larutan NaCl dengan Metoda Intermitten, Korosi 11 (1), 14-21.
- Ilman, M. N., Yustiasih P., Triono, 2009. Corrosion Fatigue Crack Growth Rate Behaviour of Al2024-T3 in Seawater Environment, pp. 1-5.
- JIS, 1973. Non Ferrous Metal, Japanese International Standar, pp. 36.
- Liu. Y., Cheng. Y. F., 2010. Characterization of Passivity and Pitting Corrosion of 3003 Aluminium Alloy in Ethylene Glycol-Water Solutions, Springer Science+Bisnis Media B.V, pp. 151-159.
- Polmear, I. J., 1981. Light Alloy, third ed., Arnold, London.
- Trethewey, K. R. & Chamberlain, J., 1991. Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Widharto, S., 2001. Karat dan Pencegahannya, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>, 2011.